

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ САХАРОЗЫ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ВОДНО-ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ СВЕКЛОВИЧНОЙ КАШКИ

Т.М. Тананайко, канд. техн. наук, доцент, Д.В. Хлиманков, мл. научн. сотр. (РУП «НПЦ НАН Беларуси по продовольствию»)

### Аннотация

*Получена математическая зависимость технологического процесса водно-тепловой обработки свекловичной кашки, исследование которой позволило установить оптимальные параметры: время водно-тепловой обработки свекловичной кашки – 80 мин., температуру водно-тепловой обработки свекловичной кашки – 85 °С, при рН – 5, 0.*

*The mathematical dependence of the process of water-cooking beet clover study which allowed to determine the optimal parameters: time, water and heat treatment of sugar beet clover – 80 minutes, the temperature of the water-heat treatment of sugar beet clover – 85 °C, at pH – 5, 0.*

### Введение

В условиях постоянного повышения цен на сырье и энергоресурсы создание и внедрение новых ресурсосберегающих технологий, не требующих значительного технического переоснащения производства, является наиболее важным направлением развития спиртовой отрасли.

Перспективным направлением развития спиртовой отрасли Республики Беларусь является активное внедрение низкотемпературных механико-ферментативных схем обработки растительного сырья. Большое значение в контексте низкотемпературных схем производства приобретает повышение концентраций перерабатываемых технологических сред, позволяющее без существенных капитальных затрат увеличить производительность предприятий и снизить себестоимость конечного продукта – этилового спирта.

Перспективным сырьем для производства этанола в спиртовой отрасли Республики Беларусь является сахарная свекла.

Сахарная свекла является культурным высокопродуктивным растением, имеет высокую урожайность и несмотря на трудоемкую уборку и сложное хранение, доступна для переработки 365 дней в году, является достаточно дешевым сырьем для Республики Беларусь, содержит значительное количество углеводов и пектиновых веществ [1-3].

Цель данной работы – определение влияния различных параметров (температуры, рН среды, времени водно-тепловой обработки) на состав свекловичного сусла.

Результаты исследований позволят установить оптимальный способ приготовления свекловичного сусла с использованием ферментных препаратов различного спектра действия, используемых в производстве этанола, что приведет к заметному увеличению выхода спирта и накоплению в нем значительного

количества летучих примесей, позволит снизить затраты на производство и получить конкурентоспособный продукт.

### Основная часть

Для создания ресурсосберегающей технологии производства этанола из сахарной свеклы необходимо провести научную работу по отработке технологических режимов на каждой стадии производства.

Для оптимизации процесса водно-тепловой обработки сахарной свеклы и достижения максимального эффекта накопления сахарозы, как основного источника биосинтеза этанола, было выполнено планирование эксперимента, которое позволяет варьировать все факторы и получать количественные оценки эффектов из взаимодействия. Для этого использован метод центрального композиционного ротатабельного планирования полного факторного эксперимента (ПФЭ-2<sup>3</sup>) со звездным плечом. Планирование и обработка результатов осуществлялись с помощью компьютерной системы планирования эксперимента STATGRAPHICS Plus for Windows.

В качестве основных факторов, влияющих на оптимизацию процесса водно-тепловой обработки свекловичной кашки, были выбраны следующие факторы:

$X_1$  – температура водно-тепловой обработки свекловичной кашки, °С;

$X_2$  – время водно-тепловой обработки свекловичной кашки, мин.;

$X_3$  – рН водно-тепловой обработки свекловичной кашки.

Пределы варьирования факторов были определены на основании анализа литературных данных и ранее проведенных исследований по водно-тепловой обработке свекловичной кашки [4]. Условия проведения центрального композиционного ротатабельного планирования приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Характеристика планирования**

Обозначение фактора	Уровень		«Звездные» точки		Центр эксперимента	Шаг варьирования
	нижний	верхний	нижняя	верхняя		
X <sub>1</sub> , °С	70,0	100,0	59,8	110,2	85	25
X <sub>2</sub> , мин.	40,0	120,0	12,7	147,3	80	40
X <sub>3</sub>	4,0	5,5	3,5	6,0	4,75	0,75

Критерием оценки влияния выбранных факторов на качество процесса водно-тепловой обработки свекловичной кашки служил показатель – содержание сахарозы (Y, %).

Эксперименты проводились в соответствии с матрицей планирования, приведенной в табл. 2.

**Таблица 2. Матрица планирования**

№ опыта	Фактор			Функция отклика, Y, %
	X <sub>1</sub> , °С	X <sub>2</sub> , мин	X <sub>3</sub>	
1	59,8	80,0	4,75	16,7
2	70,0	120,0	5,5	16,2
3	70,0	40,0	5,5	15,8
4	100,0	40,0	5,5	16,6
5	85,0	147,3	4,75	17,5
6	85,0	12,7	4,75	15,2
7	100,0	120,0	5,5	17,8
8	70,0	120,0	4,0	17,3
9	85,0	80,0	4,75	17,5
10	85,0	80,0	3,49	16,8
11	100,0	40,0	4,0	15,8
12	85,0	80,0	6,0	17,0
13	70,0	40,0	4,0	15,7
14	110,2	80,0	4,75	17,7
15	85,0	80,0	4,75	17,9
16	100,0	120,0	4,0	17,5

**Условия проведения эксперимента**

В качестве свекловичного сырья в экспериментах использовался гибрид сахарной свеклы «Алиса» с содержанием сахарозы – 18,0 %, выращенный из семян фирмы КВС.

Получение свекловичного сусла осуществлялось согласно общей процессуальной схеме эксперимента, приведенной на рис. 1.

Для гидролиза пектиновых веществ свекловичной кашки использован пектолитический ферментный препарат Пектинекс ВЕ XXL компании Новозаймс А/С (Дания); использована низкотемпературная схема гидроферментативной обработки сырья при дозировке фермента – 0,1 дм<sup>3</sup>/т сахарной свеклы.

Для корректирования активной кислотности свекловичной кашки использована серная кислота. В полученных пробах проанализировано содержание сахарозы по МВИ. МН 2738-2007 «Определение содержания фруктозы, глюкозы, сахарозы в виноградных винах, виномате-

риалах и ликерах». Методика выполнения измерений предназначена для одновременного определения содержания углеводов (фруктозы, глюкозы, сахарозы, мальтозы, ксилозы и глицерина) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием для регистрации рефрактометрического детектора.

**Анализ результатов**

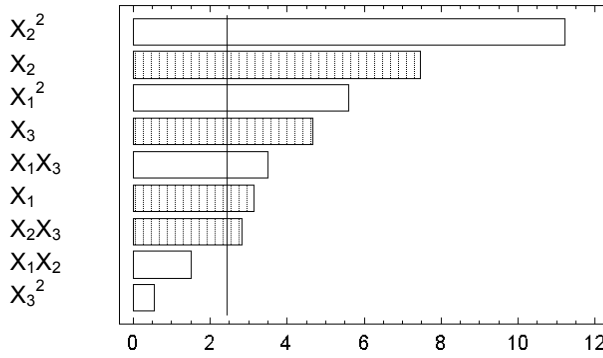
В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, адекватно описывающее зависимость исследуемой функции отклика от выбранных факторов. Влияние каждого из варьируемых факторов графически отражено в виде стандартизированной карты Парето (рис. 2) и графика главных эффектов отклика (рис. 3). Графическая модель влияния факторов на параметр оптимизации представлена в виде поверхности отклика (рис. 4а, б).

Стандартизированная карта Парето, изображенная на рис. 2, позволила установить значимые факторы и упростить первоначальный вид уравнения модели. Пересечение стандартизированных эффектов вертикальной линией, которая представляет собой 95% доверительную вероятность, означает, что влияние факторов на функцию отклика статически значимо

Влияние факторов по степени значимости распределено в следующем порядке: наибольший эффект на уровень накопления сахарозы оказывает время водно-тепловой обработки свекловичной кашки, с ее продолжительностью содержание сахарозы увеличивается; второе по значимости влияние оказывает температура водно-тепловой обработки свекловичной кашки и третье по значимости влияние оказывает рН водно-тепловой обработки свекловичной кашки. Анализ графика главных эффектов для показателя содержание сахарозы в свекловичном сусле также подтверждает вышеупомянутый порядок значимости факторов (рис. 3).



Рис. 1. Общая процессуальная схема эксперимента



Стандартизированный эффект  
Рис. 2. Карта Парето для содержания сахаразы в  
свекловичном сусле

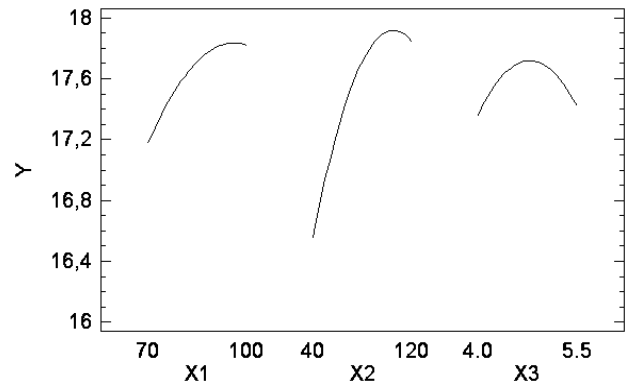
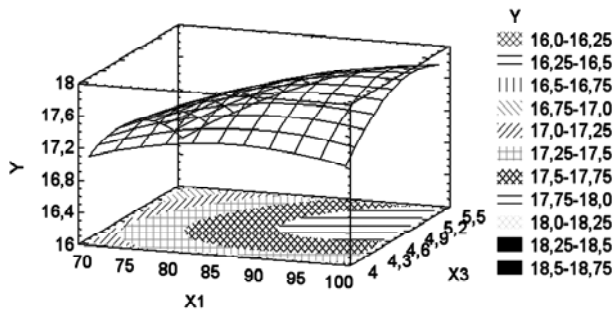
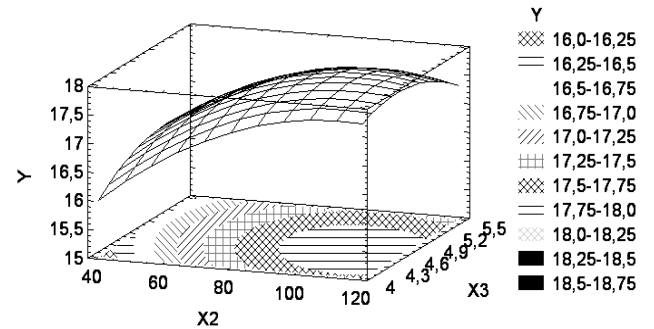


Рис. 3. Главные эффекты отклика для показателя –  
содержание сахаразы в свекловичном сусле



а)



б)

Рис. 4. График поверхностей отклика для показателя содержания сахаразы в свекловичном сусле:  
а) – при  $X_2=80$  мин.; б) –при  $X_1=85$  °C

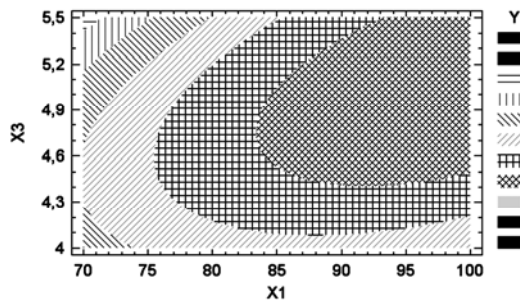


Рис. 5. Контурный график поверхностей отклика  
для показателя содержание сахаразы в свекловичном  
сусле при  $X_2=80$  мин.

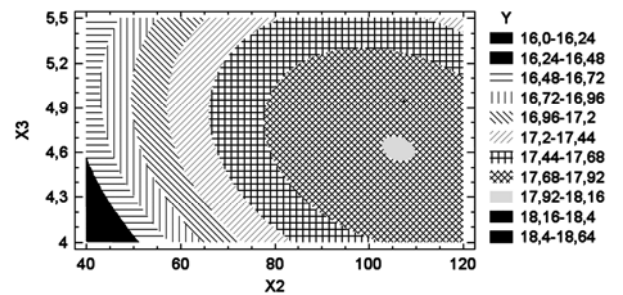


Рис. 6. Контурный график поверхностей отклика  
для показателя содержание сахаразы в свекловичном  
сусле при  $X_1=85$  °C.

После упрощения первоначального вида уравнения модели с учетом исключения незначимых коэффициентов получено уравнение регрессии:

$$Y = 0,2471 + 0,0602 X_1 + 0,0855 X_2 + 4,1466 X_3 - 0,0001 X_1^2 + 0,0002 X_1 X_2 + 0,0233 X_1 X_3 - 0,0003 X_2^2 - 0,0071 X_2 X_3 - 0,5814 X_3^2 \quad (1)$$

Работоспособность модели подтверждается высоким коэффициентом детерминации  $R\text{-squared} = 97,59\%$ .

Графическое влияние факторов на уровень накопления содержания сахаразы в свекловичном сусле представлено в виде поверхностей отклика на рис. 4 а, б.

На основании этих данных, с целью более детального рассмотрения графических зависимостей

функции отклика от варьируемых факторов и установления оптимальных параметров времени и температуры водно-тепловой обработки свекловичной кашки были изучены контурные графики поверхности отклика в разрезе содержания сахаразы в свекловичном сусле (рис. 5, 6).

Анализ графических зависимостей (рис. 4а и рис. 5) показал, что при температуре водно-тепловой обработки свекловичной кашки – 85-90°C поверхность отклика перегибается и выходит на ровное плато. Дальнейшее увеличение температуры водно-тепловой обработки свекловичной кашки не приводит к росту содержания сахаразы в свекловичном сусле. Учитывая значительные топливные затраты на разваривание

свекловичной каши, дальнейший нагрев экономически не целесообразен.

Оптимальное время водно-тепловой обработки свекловичной каши при температуре 85 °С, согласно рис. 6, находится на уровне – 85-110 мин. В данном интервале варьирования фактора времени водно-тепловой обработки свекловичной каши функция отклика приобретает максимальные значения содержания сахарозы в свекловичном сусле – 17,75-18,0 %.

С целью оценки оптимизации процесса водно-тепловой обработки свекловичной каши была приготовлена свекловичная кашка по традиционной технологии (температура разваривания – 90-120°С, время водно-тепловой обработки – 40 мин.) и по оптимизированной технологии (температура разваривания – 85°С, время водно-тепловой обработки свекловичной каши – 80 мин). Начальная концентрация сухих веществ была одинаковой. Полученные варианты свекловичного сусла были проанализированы по следующим показателям: рН, титруемая кислотность, концентрация сухих веществ, содержание сбраживаемых углеводов [5]. Ре-

дов, что обусловлено оптимальными параметрами водно-тепловой обработки свекловичной каши.

### Заключение

Получена математическая зависимость технологического процесса водно-тепловой обработки свекловичной каши, исследование которой позволило установить оптимальные параметры: время водно-тепловой обработки свекловичной каши (80 мин.) и температуру водно-тепловой обработки (85 °С), при рН – 5,0.

Установлены оптимальные параметры технологического процесса водно-тепловой обработки свекловичной каши, что позволило снизить расход тепловой энергии на 5-7 % по сравнению с классической технологией и снизить себестоимость конечного продукта.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Халаим, А.Ф. Технология спирта/ А.Ф. Халаим. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – С. 17-18.
2. Сапронов, А. Р. Технология сахарного производства/А.Р. Сапронов. – 2-е изд., исправ. и доп. – М.: Колос, 1999. – 495 с.
3. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства/ А.Р. Сапронов, – М.: Колос, 1998. – 495 с.
4. Тананайко, Т.М. Возможность использования сахарной свеклы для производства биоэтанола/ Т.М. Тананайко, Д.В. Хлиманков, Л.П. Яромич // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы VIII Международ. научн.- практ. конф., Минск, 8-9 октября 2009 г. / Науч.- практ. центр НАН Беларуси по прод., редкол.: З.В. Ловкис [и др.]. – Минск, 2009. – С. 271-279.
5. Рухлядева, А.П. Технохимический контроль спиртового производства/ А.П. Рухлядева – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 355 с.

**Таблица 3. Физико-химические показатели свекловичного сусла**

Показатели	Контроль, температура t=90 °С; время водно-тепловой обработки t =40 минут	Контроль, температура t= 120 °С; время водно-тепловой обработки t =40 минут	Экспериментальный образец, температура t=85 °С; время водно-тепловой обработки t =80 минут
Содержание сухих веществ, %	8,8	8,9	9,1
рН	5,0	5,0	5,0
Кислотность, °Д	0,12	0,12	0,12
Содержание сбраживаемых углеводов, %	7,7	7,8	8,0

зультаты представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, экспериментальный образец сусла превосходит контрольные по содержанию сухих веществ и содержанию сбраживаемых углево-

**“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.**

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на первое полугодие 2012 года: для индивидуальных подписчиков - 48330 руб., ведомственная подписка - 95508 руб.